Jb. nass. Ver. Naturkde. **126** S. 55–70 7 Abb. 1 Tab. Wiesbaden 2005

Grundwasserbeschaffenheit an ausgewählten Messstellen im Taunus und seiner näheren Umgebung im Hinblick auf die EU-Wasserrahmenrichtlinie

BENEDIKT TOUSSAINT

Taunus, Grundwasser, Messstellen, Monitoring, Beschaffenheit, EU-Wasserrahmenrichtlinie

K u r z f a s s u n g : Die EU-Wasserrahmenrichtlinie verlangt, dass der quantitative und qualitative Status der Grundwasserkörper, die alle Flussgebieten zugeordnet sein müssen, bewertet wird. In diesem Zusammenhang ist spätestens ab 2007 ein Monitoring durchzuführen. Die auf die einzelnen Messstellen bezogenen Daten der Grundwasserbeschaffenheit müssen aggregiert werden, um den chemischen Status eines ganzen Grundwasserkörpers einschätzen zu können. Am Beispiel von 14 ausgewählten Messstellen des Hessischen Landesgrundwasserdienstes im Taunus und seiner näheren Umgebung wird gezeigt, dass es bislang noch kein fachlich befriedigendes Verfahren für eine widerspruchsfreie Aggregierung von qualitativen Grundwasser-Messwerten gibt, gleichwohl macht der Verfasser dazu Vorschläge.

Inhaltsverzeichnis

1 Problemstellung

Die am 22. Dezember 2000 in Kraft getretene und spätestens im Jahr 2003 in nationales Recht der Mitgliedstaaten überführte EU-Wasserrahmenrichtlinie fordert u.a. einen auf Flussgebiete bezogenen integralen Ansatz bei der Bewirtschaftung von ober- und unterirdischen Gewässern. Details hierzu würden an dieser Stelle zu weit führen. Wichtig aber ist, dass der quantitative und qualitative Status der sog. Grundwasserkörper (deren Definition und Abgrenzung, die bis Dezember 2004 zu erfolgen hatten, machten in der Praxis erhebliche Schwierigkeiten, weil dieser EU-bürokratische Terminus den Grundwasserexperten bislang unbekannt war) im Rahmen eines Monitoring zu dokumentieren ist (TOUSSAINT 2003).

Das Grundwassermonitoring, für das die Voraussetzungen bis Dezember 2006 zu schaffen sind, damit es spätestens ab Anfang 2007 durchgeführt werden kann, bezieht sich auf Grundwasserkörper, in denen mindestens 100 m^3/Tag gewonnen werden können. Aufgrund der klimatischen Gegebenheiten kann in Deutschland auch bei ungünstigen hydrogeologischen Verhältnissen in jedem Grundwasser-

körper diese Mindestmenge gefördert werden. Die EU-Wasserrahmenrichtlinie unterscheidet zwischen quantitativem und qualitativem Monitoring, im Hinblick auf die Grundwasserbeschaffenheit wird zwischen überblicksweisem und operativem Monitoring differenziert. Das überblicksweise Grundwassermonitoring bezieht sich auf alle Grundwasserkörper (in Hessen wurden 124 ausgewiesen), das operative Grundwassermonitoring nur auf Grundwasserkörper, die entweder im Rahmen einer vorausgegangenen sog. erstmaligen und ggf. verfeinerten weitergehenden Charakterisierung als „at risk“ (laut LAWA-Beschluss so zu interpretieren, dass die Zielerreichung im Jahr 2005 unklar/unwahrscheinlich ist) eingeschätzt wurden oder grenzüberschreitend sind.

Für das überblicksweise Monitoring steht insbesondere das Messnetz des staatlichen Hessischen Landesgrundwasserdienstes zur Verfügung, der in seinen Anfängen bis in das Jahr 1912 (TOUSSAINT 2001) zurückgeht und Ende Juli 2005 insgesamt 992 Messstellen umfasste, davon 73 gefasste Quellen. Einer Teilmenge von 230 Messstellen wird seit 1984 mehr oder weniger regelmäßig Grundwasserproben entnommen, die anschließend im Labor auf bestimmte Inhaltsstoffe analysiert werden. Für die obligatorische Berichterstattung nach „Brüssel“ genügt eine relativ kleine Anzahl ausgewählter Messstellen (Referenzmessstellen). Über die Auswahlkriterien wird zurzeit noch kontrovers diskutiert.

Das Grundwassermonitoring hat die Zielsetzung, den quantitativen und qualitativen Status des Grundwassers nicht nur an den einzelnen Messstellen zu erfassen, sondern eine flächenrepräsentative Aussage für den jeweiligen Grundwasserkörper als Ganzes zu machen. Da in Hessen kein Grundwasserkörper in quantitativer Hinsicht als „at risk“ eingeschätzt wurde, wohl aber bei 69 Grundwasserkörpern (61 %) davon ausgegangen werden muss, dass im Hinblick auf ihre Beschaffenheit die Zielerreichung zurzeit unklar oder unwahrscheinlich ist, liegt der Schwerpunkt des Monitoring auf der Beschaffenheit der Grundwasserkörper. Deren Status ist dann „schlecht“, wenn entweder EU-weit geltende Qualitätsstandards (zurzeit nur für Nitrat und Pflanzenschutz- und -behandlungsmittel vorliegend) oder noch zu definierende sog. Schwellenwerte (die nicht EU-einheitlich sein werden) überschritten werden.

Die EU-Wasserrahmenrichtlinie verlangt, dass der qualitative Status eines Grundwasserkörpers aus den auf die einzelnen Messstellen bezogenen Messwerten abgeleitet werden soll. Da die Richtlinie dazu keine näheren Erläuterungen gibt und die bisherigen Entwürfe einer spezifischen Tochterrichtlinie „Grundwasser“ diesbezüglich ebenfalls nicht sonderlich hilfreich sind, erstaunt es nicht, dass es von Grundwasserfachleuten dazu zahlreiche, sich häufig auch widersprechende Vorschläge gibt, wie dieses Problem zu lösen ist.

Der Verfasser, Hydrogeologe mit langjähriger Berufserfahrung speziell im Zusammenhang mit Grundwassermonitoring, zeigt am Beispiel ausgewählter Grundwassermessstellen aus dem Taunus und dessen näheren Umland auf, dass es problematisch ist, die Einstufung des qualitativen Status eines Grundwasserkörpers als Ganzes nur anhand relativ weniger Messstellen vorzunehmen. Der Grund dafür ist, dass in der Praxis ein Grundwasserkörper alles andere als homogen ist; das gilt im Hinblick auf sein geologisches Inventar, das hydrogeologisch und geohydraulisch zu interpretieren ist, die morphologischen und hydrome-

teorologischen Wirkfaktoren sowie die anthropogenen Einflüsse. Die Konsequenz ist, dass die Grundwasserbeschaffenheit räumlich und zeitlich stark variieren kann.

2 Beschaffenheit des Grundwassers an ausgewählten Messstellen

Für die Dokumentation der räumlich und zeitlich variierenden Konzentrationen typischer Inhaltsstoffe des Grundwassers wurden im Taunus 12 und seiner näheren Umgebung 2 Messstellen ausgewählt, die einheitlich im Zeitraum 1995 - 1997 beprobt wurden. Diese insgesamt 14 Messstellen entfallen auf eine rd. 1700 km^2 große Fläche. Aus späteren Jahren liegt in der Datenbank GruWaH des Hessischen Landesamtes für Umwelt und Geologie, Wiesbaden, das die Daten freundlicherweise zur Verfügung stellte, keine ausreichende Anzahl von Analysen vor. 10 Messstellen sind verfilterte Rohre, die nach bestimmten Vorgaben in ein Bohrloch eingebaut wurden, die übrigen sind gefasste Quellen. Die wichtigsten Stammdaten dieser Messstellen sind in Tab. 1 dokumentiert.

Tabelle 1: Wichtige Stammdaten ausgewählter Grundwassermessstellen im Taunus und seinem näheren Umfeld

lfd. Nr.	Messst.-Nr.	Name	TK 25	Lagekoordinaten		MpH (NN+m)	Tiefe (m)	stratigr. Alter	Landnutzung
				R	L				
1	484042	Panrod	5714	343720	557074	239,51	40,0	Unterdevon	Wiese, Wald
2	484502	Camberg	5615	344897	557398	240,86	Quelle	Unterdevon	Acker, Wiese, Wald
3	485013	Heinzenberg II	5616	345692	558458	205,29	50,3	Unterdevon	Wald
4	485045	Brandoberndorf	5516	346337	558861	239,41	40,9	Unterdevon	Wald
5	485046	Fauerbach	5617	347254	558241	241,24	50,5	Unterdevon	Wald
6	485047	Ockstadt	5618	347802	557778	265,94	57,0	Unterdevon	Wald
7	485517	Ober-Mörlen	5618	347855	558134	189,70	Quelle	Tertiär (Oligozän)	Wiese, Gärten
8	506027	Schlangenbad	5914	343725	555056	372,28	20,1	Unterdevon	Siedlung
9	506031	Orlen	5815	344108	556044	434,82	41,0	Unterdevon	Wald
10	506032	Geisenheim	5913	342186	555060	163,10	40,0	Unterdevon	Wald
11	506033	Kiedrich	5914	343368	554776	247,51	26,0	Unterdevon	Wald, Wiese
12	506034	Biebrich	5915	344608	554434	88,10	24,0	Tertiär (Miozän)	Siedlung, Industrie
13	506502	Kiedrich	5914	343290	554828	319,29	Quelle	Unterdevon	Wald
14	507502	Glashütten	5116	346052	556582	730,00	Quelle	Unterdevon	Wald

Im Hinblick auf die Interpretation hydrochemischer Daten sind Quellen in der Regel zu bevorzugen, da in ihnen das Grundwasser von Natur aus zu Tage tritt und daher Grundwasserproben weniger verfälscht sind als im Falle von Messstellen i.e.S, die immer einen technischen Eingriff in einen Grundwasserleiter darstellen. Außerdem beziehen sich die auf Quellen bezogenen Messwerte auf eine mehr oder weniger große Fläche, während die Grundwasserproben aus Messrohren immer nur Punktinformationen liefern. Das führt zu den bereits angesprochenen Schwierigkeiten, den chemischen Status des relevanten Grundwasserkörpers zu definieren.

Die ausgewählten Messstellen sind über den gesamten Taunus und seine nähere südliche und östliche Umgebung verstreut und liegen im Einzugsgebiet des Oberrheins oder des Mittelrheins. Mit Ausnahme der beiden Messstellen 485017 Ober-Mörlen (hydrogeologischer Teilraum 3302 Vogelsberg) und 506034 Biebrich (hydrogeologischer Teilraum 3105 Tertiär und Quartär des Rhein-Main-Gebietes) gehören sie dem hydrogeologischen Teilraum 8102 (Paläozoikum des südlichen Rheinischen Schiefergebirges) an. Durch Verschneidung der hydrogeologischen Teilräume mittels GIS mit den ebenfalls nach einem bestimmten System nummerierten Gewässerteileinzugsgebieten (das Wispergebiet hat z.B. die Nummer 2560) wurden in Hessen die Grundwasserkörper abgegrenzt (Abb. 1).

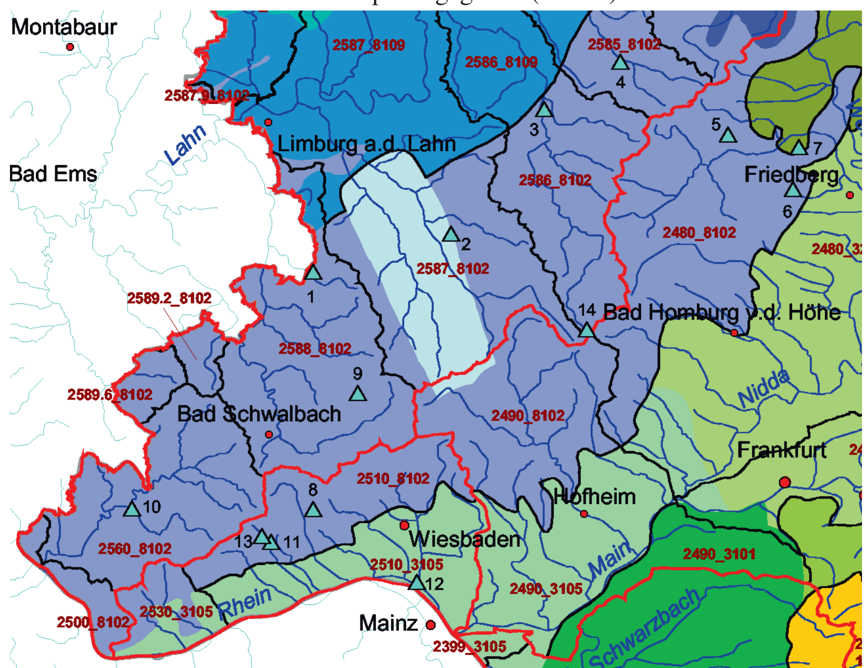


Abbildung 1: Der Taunus (Farbe violett, einschl. hellblau eingefärbte Idsteiner Senke) mit seinen verschiedenen Grundwasserkörpern, die durch jeweils zwei vierstellige Ziffernblöcke gekennzeichnet sind (die roten Linien trennen die Einzugsgebiete des Oberrheins bis zur Mainmündung, des Mains und das restliche Einzugsgebiet des Oberrheins zwischen Mainz und Bingen voneinander ab, die schwarzen Linien beziehen sich auf Teileinzugsgebiete); die blauen Dreiecke symbolisieren die Grundwassermessstellen, die gemäß Tab. 1 mit 1 bis 14 nummeriert sind.

Die 12 im Taunus befindlichen Messstellen sind in Kluftgesteinen des Unterdevon (Gédinne - Ems) verfiltert. Laut Datenbankauszug handelt es sich dabei vorherrschend um geschieferte Tonsteine, z.T. auch tonige Sandsteine, aber auch um pufferarme Quarzite und quarzitische Sandsteine sowie um metamorphe Gesteine des „Vordevon" wie z.B. Phyllite. Eine weitere Differenzierung der geologischen Stammdaten wie Art der Deckschichten, Verwitterungsgrad der wasserführenden Gesteine, Intensität ihrer tektonischen Beanspruchung, Bindemittel usw., alles für die Interpretation der Grundwasserbeschaffenheit wichtige Informationen, wird vermisst. Da weiterhin die Bohrprofile – sofern überhaupt vorhanden – häufig nicht von einem Geologen, sondern von einem Bohrmeister erstellt wurden, sind weitere Unsicherheiten gegeben, die im Extremfall eine fehlerhafte Ansprache der erbohrten Gesteine beinhalten können. An den beiden außerhalb des Taunus liegenden Messstellen 485517 Ober-Mörlen und 506034 Biebrich steht Tertiär an: im ersten Fall oligozäne Sande und vertonte Gerölle an der Basis des basaltischen Vogelsbergs, im zweiten Fall miozäne Kalk- und Mergelsteine im Wechsel mit Ton- und Mergellagen des Mainzer Beckens. Mit Ausnahme der beiden Messstellen 506027 Schlangenbad und 506034 Biebrich, die jeweils in Siedlungsgebieten (z.T. mit Industrieflächen) situiert sind, befinden sich die anderen Messstellen in Gebieten, in denen im Einzugsgebiet der Wald vorherrscht, teilweise aber auch Wiesen/Weiden, Acker- und Gartenland als Flächennutzungen eine Rolle spielen. Das bedeutet, dass die Beschaffenheit des Grundwassers örtlich stärker anthropogen beeinflusst sein kann.

Da die EU-Wasserrahmenrichtlinie u.a. die Ermittlung der geochemischen Grundwassertypen fordert, werden für deren Beschreibung seine Hauptinhaltsstoffe zugrunde gelegt; das sind üblicherweise Calcium (Ca), Magnesium (Mg), Natrium (Na) und Kalium (K) bei den Kationen und Hydrogenkarbonat (HCO_3), Sulfat (SO_4), Chlorid (Cl) und Nitrat (NO_3) auf der Anionenseite. Mit einer anderen Zielsetzung ging THEWS (1972) auf weitere hydrochemische Parameter ein, allerdings beziehen sich seine Ausführungen lediglich auf den zentralen Taunus und im Gegensatz zu diesem Beitrag auch auf größere Bereiche des südlichen und östlichen Vorlandes. Im Allgemeinen gehen die Hydrogenkarbonat-, Calcium- und Magnesiumkonzentrationen auf die allmähliche Auflösung der Gesteine im Kontakt mit dem Sickerwasser in der ungesättigten Zone und mit dem Grundwasser im gesättigten Bereich des jeweiligen Grundwasserleiters zurück, untergeordnet dürften auch landwirtschaftliche Düngemaßnahmen eine Rolle spielen und ebenso ungesicherte Bauschuttdeponien. Im Gegensatz zu den anderen Kationen ist Kalium im Grundwasser in der Regel nur untergeordnet vertreten, kann aber in Ausnahmefällen im Zusammenhang mit übermäßiger Düngung in Erscheinung treten. Natrium und insbesondere Chlorid im oberflächennahen Grundwasser resultieren im Taunus überwiegend aus dem Salzgehalt des versickerten Anteils der Niederschläge, können aber auch einen Zusammenhang aufweisen mit der winterlichen Straßensalzung (GOLWER 1999, THEWS 1972) oder mit dem Aufstieg von Solen aus größeren Tiefen (geogen, bei Grundwasserüberförderung aber auch anthropogen induziert). Höhere Natriumgehalte sind aber auch möglich in Verbindung mit an bestimmte geologische Verhältnisse gebundenen Ionenaustauschvorgängen, von THEWS (1972) werden Alkalisulfat- und Alkalihydrogenkarbonatwässer im Taunusvorland beschrieben. Sulfate können zwar auch anthropogen bedingt (Düngemaßnahmen, ungesicherte Bauschuttde-

ponien) in das Grundwasser gelangen, in der Hauptsache gehen sie jedoch auf die Oxidation von Pyriten im Untergrund zurück, die speziell in organischem Material, aber auch in Tonsteinen angereichert sein können. Schließlich ist auch Nitrat, neben den Pflanzenschutz- und -behandlungsmitteln zurzeit der einzige Grundwasserinhaltsstoff mit Wasserrahmenrichtlinien-Relevanz, zu nennen. Wenn die Nitratkonzentrationen im Grundwasser im Falle nicht reduzierter Verhältnisse weniger als 10 bis maximal 15 mg/l betragen, sind sie natürlichen Ursprungs und gehen auf einen Eintrag durch den Niederschlag in den Untergrund und biogene Prozesse an der Erdoberfläche und im belebten Oberboden zurück. Sind die Konzentrationen höher, ist die Hauptursache immer die landwirtschaftliche Flächennutzung.

2.1 Charakterisierung des geohydrochemischen Grundwassertyps

Im Zusammenhang mit vergleichenden geohydrochemischen Untersuchungen werden üblicherweise Ionendiagramme verwendet, die in der Regel entweder in Form von Kreisen oder wie hier bevorzugt in Form von Balken dargestellt werden (Abb. 2, 3). Die Kationen Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{+} und K^{+} werden nach oben aufgetragen, die Anionen HCO_3^{-}, SO_4^{2-}, Cl^{-} und NO_3^{-} nach unten, und zwar in Form der Äquivalentkonzentrationen [mmol(eq)/l] ihrer analytisch bestimmten Massenkonzentration [mg/l]. Die äquivalente Konzentration eines Inhaltstoffes wird dadurch ermittelt, dass seine Massenkonzentration durch sein (relatives) Atom- bzw. Molekulargewicht dividiert und mit seiner Wertigkeit multipliziert wird. Beispiel: 60 mg Ca^{2+}/l entsprechen 2,94 mmol(eq)/l, da das zweiwertige Calcium ein relatives Atomgewicht von 40,8 hat.

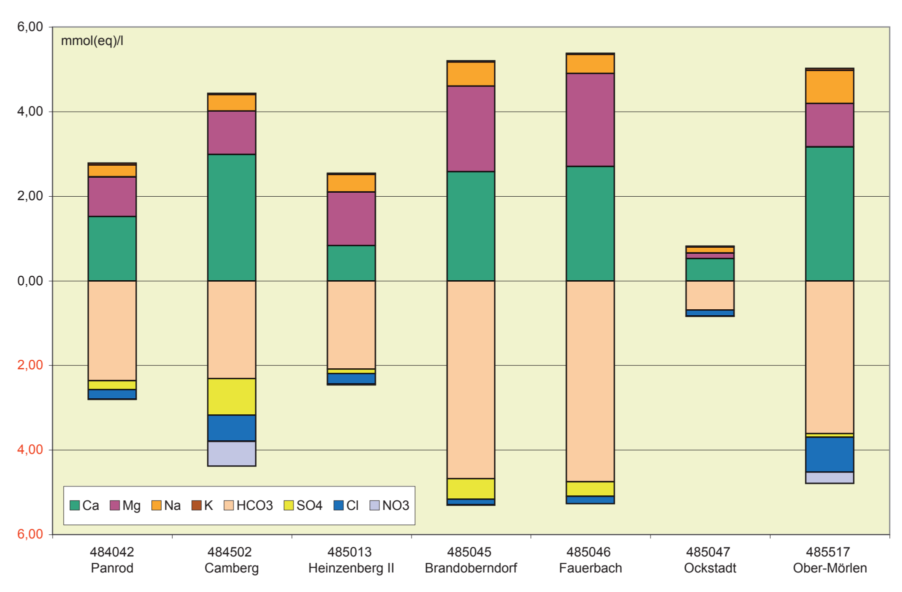


Abbildung 2: Geochemische Grundwassertypen der Messstellen mit den Nummern 484… und 485… im nördlichen Taunus (Messstellen 1 - 7 in Abb. 1).

In einem nördlichen Streifen sind die Messstellen mit den Nummern 484… und 485… angeordnet (Abb. 2). Die jeweiligen Grundwässer sind zwar nur schwach bis mäßig mineralisiert, eine beträchtliche räumliche Variation der Stoffinhalte ist aber unverkennbar. Das der Messstelle 485047 Ockstadt zuströmende Grundwasser ist am wenigsten mineralisiert (< 2 mmol(eq)/l), weil an ihrem Standort nur sehr wenig wasserlösliche Quarzite und Phyllite anstehen. Die Grundwässer im Umfeld der Messstellen 484042 Panrod und 485013 Heinzenberg II weisen eine höhere Mineralisation < 6 mmol(eq)/l auf, die typisch ist für relativ karbonatarme geschieferte Tonsteine. Noch etwas stärker ist das der Messstelle 484502 Camberg entnommene Grundwasser mineralisiert (> 8 mmol(eq)/l). Es handelt sich um die bis 11 l/s schüttende Quelle „Steinkaut", in ihrem Einzugsgebiet wird das unterdevonische Grundgebirge, dem teilweise alttertiäre Sande, Tone und Mergel auflagern, von kalkhaltigem Löss oder Lösslehm überdeckt. Die Flächen mit diesem äolischen Sediment werden landwirtschaftlich intensiv genutzt, wie man an einer nicht unbeträchtlichen Nitratkonzentration des Grundwassers erkennen kann. Am höchsten ist der Lösungsinhalt des Grundwassers der Messstellen 485045 Brandoberndorf und 485046 Fauerbach (11 mmol(eq)/l). Ihr Mineralisationsmuster ist vergleichbar, obwohl laut vorliegender Unterlagen die zuerst genannte Messstelle in vermutlich karbonatreicheren geschieferten Tonsteinen und die andere in Quarziten und Sandsteinen verfiltert ist. Im Falle der Messstelle 485046 Fauerbach wirken sich wahrscheinlich die weiter östlich anstehenden und teilweise mit Löss überdeckten oligozänen Sedimente aus, die teilweise mergelig ausgebildet sind. An diese alttertiären Schichten ist der Austritt des Stockborns gebunden (Messstelle 485517 Ober-Mörlen), so dass der höhere Lösungsinhalt nicht verwundert, weiterhin kommen dafür auch landwirtschaftliche Aktivitäten in Frage, wie u.a. am Nachweis von Nitrat zu ersehen ist. Es kann spekuliert werden, dass der Lösungsinhalt möglicherweise noch größer wäre, wenn nicht Grundwasser aus dem Taunus in die Tertiärschichten übertreten würde, was aufgrund der morphologischen Gegebenheiten und des daran angepassten Grundwasserströmungsfeldes anzunehmen ist.

Trotz sehr unterschiedlicher Mineralisationsgrade gehören alle Grundwässer geohydrochemisch dem Ca-HCO_3-Typ an, weil diese beiden Ionen dominant sind. Die über die übliche Größenordnung hinausgehenden Cl-Gehalte im Grundwasser der Messstellen 485502 Camberg und 485517 Ober-Mörlen dürfte damit zusammenhängen, dass entweder innerhalb des Taunus (Camberg) oder an dessen östlichen Rand (Ober-Mörlen) Salzwässer an Verwerfungen aus größerer Tiefe aufsteigen und sich dem oberflächennahen Grundwasser beimischen, möglicherweise spielt aber auch in Lösung gegangenes Streusalz eine Rolle.

Die in einem südlichen Streifen befindlichen Messstellen mit den Nummern 506… und 507… werden von Grundwässern angeströmt, die teilweise noch höher mineralisiert sind als die weiter nördlichen (man beachte die unterschiedlich skalierten y-Achsen in den Abb. 2 und 3!), außerdem verändern sich auch die Stoffkonzentrationen von Ort zu Ort wesentlich stärker (Abb. 3). Auffällig schwach mineralisiert ist das Grundwasser im Umfeld der Messstelle 506502 Kiedrich (< 2 mmol(eq)/l). Das überrascht nicht, weil das Einzugsgebiet der Quelle „Siltgraben" an nur wenig wasserlösliche Quarzite und Phyllite gebunden ist. In den aus Tonschiefern oder tonigen Sandsteinen aufgebauten Gebieten des

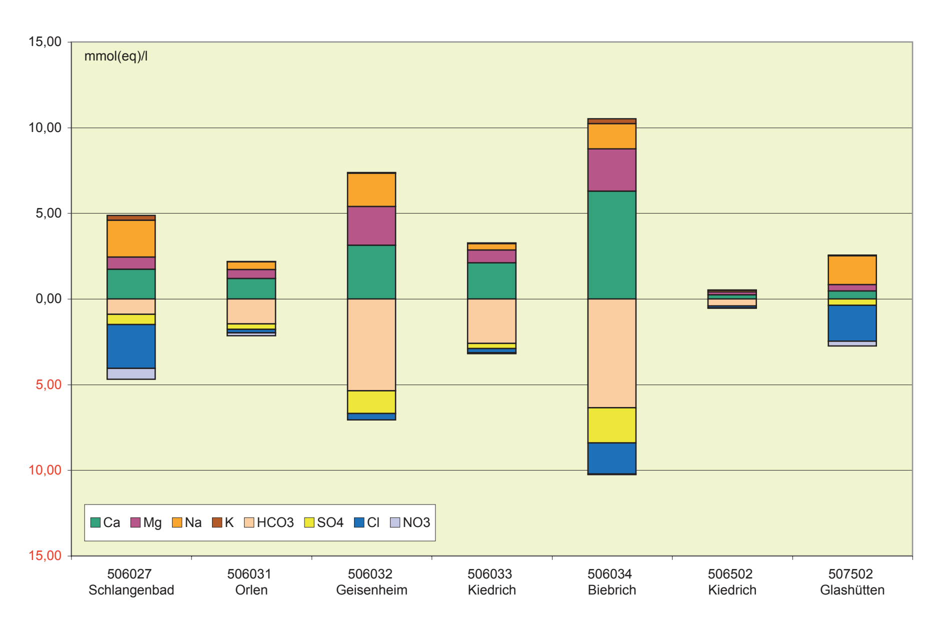


Abbildung 3: Geochemische Grundwassertypen der Messstellen mit den Nummern 506… und 507… im südlichen Taunus (Messstellen 8 - 14 in Abb. 1).

Untertaunus und Vordertaunus ist der Lösungsinhalt des Grundwassers wesentlich höher, wobei Größenordnungen zwischen 5 und 10 mmol(eq)/l dominieren, z.B. typischerweise dokumentiert in den auf die Messstellen 506031 Orlen bzw. 506033 Kiedrich bezogenen Analysenbefunden. Im Umfeld der in einem Seitental der Wisper gelegenen Messstelle 506032 Geisenheim stehen Tonschiefer, Sandsteine und Quarzite an; da die unterdevonische Schichtenfolge von karbonatreicherem Hangschutt überdeckt wird, ist das in nur 2 - 3 m unter Flur anstehende Grundwasser mit rd. 14 mmol(eq)/l noch etwas höher mineralisiert. Auffällig ist der Natriumgehalt, dessen Ursache einstweilen noch unklar ist. Alle genannten Taunus-Grundwässer sind geohydrochemisch dem Ca-Hydrogenkarbonat-Typ zuzuordnen, auch wenn die Relation zwischen den Erdalkalien (Ca, Mg) variieren kann.

Typologisch verschieden davon ist das Grundwasser, das an den ebenfalls im Taunus gelegenen Messstellen 506027 Schlangenbad und 507502 Glashütten beprobt wurde. Geohydrochemisch gesehen gehört das Grundwasser der Messstelle 506027 Schlangenbad dem Na-Ca-Cl-Typ an, was einerseits geogen bedingt ist, andererseits aber auch anthropogene Ursachen hat. Die Messstelle liegt in einem Siedlungsgebiet, daher geben sich anthropogene Einflüsse zu erkennen, so z.B. höhere, auf Landwirtschaft oder Gartenbau zurückgehende Kalium- und Nitratkonzentrationen als üblich sowie erhöhte Natriumgehalte. Die auffälligen Natriumkonzentrationen gehen aber auch wie insbesondere die Chloridkonzentrationen auf natürliche Säuerlinge zurück, denen Schlangenbad seinen Ruf als Heilbad verdankt.

Offensichtlich total anthropogen überprägt ist die Beschaffenheit des Grundwassers der Messstelle 507502, das in der „Weilquelle“ zu Tage tritt und im Hinblick auf die Lithologie des Grundwasserleiters geohydrochemisch eigentlich dem Ca-Hydrogenkarbonat-Typ zugehören müsste. In Hochlagen des Taunus (die Quelle der Weil liegt in NN+730 m) liegen die Chloridgehalte des oberflächennahen Grundwassers, die ausschließlich atmogener Natur sind (nasse und trockene Depositionen) bei maximal 10 mg/l bzw. bei 0,28 mmol(eq)/l. Da die Weilquelle nördlich der Verbindungsstraße Kl./Gr. Feldberg liegt und auf den Straßen in diesem Teil des Taunus im Winter dreimal mehr Streusalz eingesetzt wird als z.B. im Untermaingebiet (GOLWER 1999), gelangt Chlorid, weniger das im oberflächennahen Abschnitt des Grundwasserleiters teilweise festgelegte Natrium, in z.T. erheblichen Mengen sehr schnell in das Grundwasser. Im Quellwasser können die Chloridgehalte teilweise über 70 mg/l (siehe Abschn. 2.2) bzw. mehr als 2 mmol(eq)/l betragen.

Das in der Messstelle 506034 Biebrich beprobte Grundwasser könnte in geohydrochemischer Hinsicht einem Ca-Mg-Na-HCO_3-SO_4-Cl-Typ zugeordnet werden, wenn es diese Kategorie geben würde. Die Messstelle liegt in einem bebauten Gebiet mit Industrieanteil neben einer stark befahrenen Bundesstraße und unweit des Rheins. Sie ist in miozänen Kalk- und Mergelsteinen verfiltert, der Standort gehört geologisch dem Mainzer Becken an. Die vielfältigen geogenen Faktoren und die anthropogenen Einflüsse spiegeln sich in dem hochmineralisierten Grundwasser(> 20 mmol(eq)/l) wider.

2.2 Interpretation der hydrochemischen Messwerte des Zeitraums 1995 - 1997

Die Inhaltstoffe des Niederschlagswassers und/oder des resultierenden Sickerwassers prägen nur dann den Chemismus des Grundwassers entscheidend, wenn im gesättigten Abschnitt des relevanten Grundwasserleiters keine relativ gut wasserlöslichen Gesteine vorhanden sind (z.B. Quarzite oder quarzitische Sandsteine) und/oder das Grundwasser so rasch strömt, dass sich Lösungsgleichgewichte nicht oder nur unvollkommen einstellen können (z.B. im Falle starker unterirdischer Verkarstung). In der Regel gibt das geochemische Inventar des wassererfüllten Grundwasserleiters den Lösungsinhalt des Grundwassers mehr oder weniger vor.

Da das Grundwasser Teil des Wasserkreislaufs und nicht nur Lösungs-, sondern auch Transportmedium ist, kommt der Kenntnis des Prozesses der Grundwasserneubildung, durch die (Schad-)Stoffe von der Geländeoberfläche über den Sickerraum bis in den Grundwasserraum verfrachtet werden können und dort advektiv transportiert werden (zusätzliche physikalische Prozesse sowie chemische und biologische Reaktionen sollen hier nicht weiter betrachtet werden), im Hinblick auf die Interpretation hydrochemischer Daten eine große Bedeutung zu. Da die Neubildung des Grundwassers im Wesentlichen aus Niederschlägen insbesondere in der verdunstungsarmen Jahreszeit resultiert, soll am Beispiel des Niederschlagsgeschehens der Jahre 1995 - 1997 in Taunusstein-Orlen (Abb. 4) erläutert werden, in welchem Ausmaß und wie schnell sich die Neubildung von Grundwasser auf dessen Beschaffenheit auswirkt.

Im Vergleich zur langjährigen Höhe des Jahresniederschlags (1975 - 2000) von 737 mm/a ist das Jahr 1995 mit 801 mm/a ein „Nassjahr“, das Jahr 1996 mit 686 mm/a in etwa ein Durchschnittsjahr und das Jahr 1997 mit 595 mm/a ein

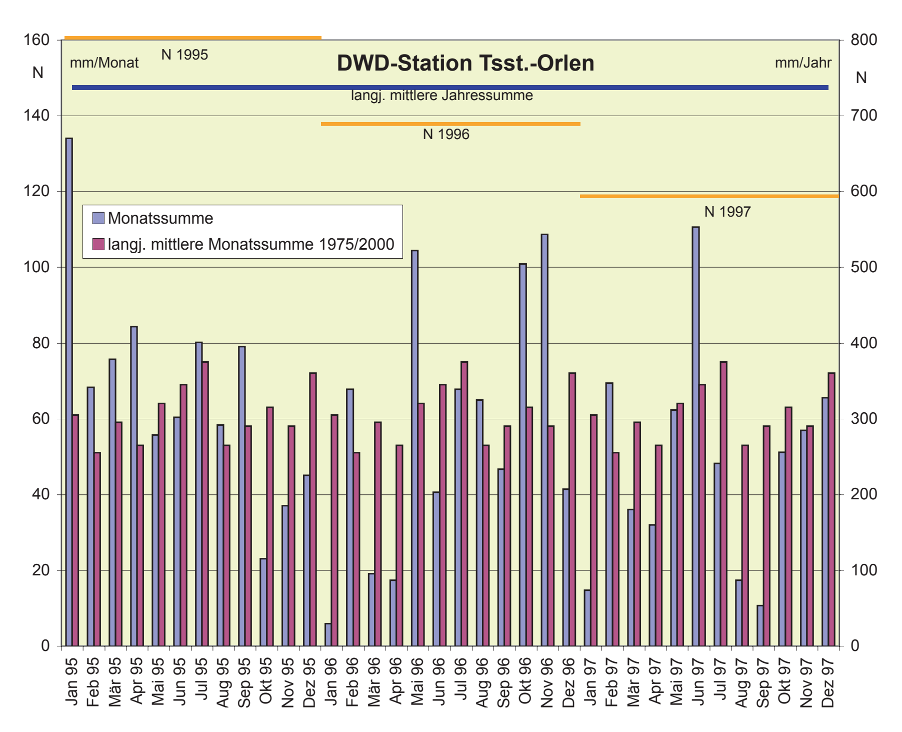


Abbildung 4: Die Niederschläge an der DWD-Station Taunusstein-Orlen, Langzeitentwicklung und in den Jahren 1995 – 1997.

„Trockenjahr". Im Jahr 1995 waren im Vergleich zu den langjährigen mittleren Monatsniederschlägen vor allem die Winter- und Frühjahrsmonate niederschlagsreich, mit 137 mm war insbesondere der Januar extrem nass. Dagegen waren mit Ausnahme des Monats Februar die den Prozess einer Grundwasserneubildung begünstigenden Winter- und Frühjahrsmonate (niedrige Temperaturen, eingeschränkte Pflanzenverdunstung) des Jahres 1996 ausgesprochen niederschlagsarm, Grundwasserneubildung in größerem Umfang war nur im Mai sowie im Oktober und November möglich. Im zu trockenen Jahr 1997 gab es nur in den Monaten Februar und Juni überdurchschnittliche Niederschläge, die jedoch kaum dem Grundwasser zugute gekommen sein dürften, wie tendenziell sinkende Grundwasserstände und zurückgehende Quellschüttungen gezeigt haben.

Nachstehend soll anhand der hydrochemischen Daten der Messstellen 506027 Schlangenbad, 506031 Orlen und 507502 Glashütten, die in den Jahren 1995 bis 1997 als einzige der im Taunus ausgewählten Grundwassermessstellen im monatlichen Turnus beprobt wurden, der Frage nachgegangen werden, in welchem Umfang die weitgehend natürliche (Messstelle 506031 Orlen) bzw. die stark anthropogen beeinflusste (Messstellen 506027 Schlangenbad, 507502 Glashütten) Grundwasserbeschaffenheit in diesem Zeitraum variierte. Die Konzentrationsganglinien der hier zur Diskussion anstehenden acht Inhaltsstoffe beziehen sich auf die jeweilige Masse (mg/l), zu ihrer Unterscheidung wurden die gleichen Far-

ben gewählt wie im Falle der Ionendiagramme (siehe Abb. 2, 3). In die Überlegungen einbezogen wird auch die Betrachtung der zeitlichen Entwicklung des Grundwasserstandes bzw. der Quellschüttung.

Obwohl dem oberflächenahen Grundwasser der Messstelle 506027 Schlangenbad auch salzhaltiges Grundwasser aus größeren Tiefen zugemischt ist, zeigt der Vergleich der Ganglinien der Massenkonzentrationen der Inhaltsstoffe mit dem Niederschlagsdiagramm doch ziemlich eindeutig, dass ein Zusammenhang zwischen Niederschlägen bzw. den daraus abzuleitenden Prozessen von Grundwasserneubildung einerseits und Grundwasserchemismus andererseits besteht (Abb. 5). Vor allem die starken Peaks der drei Inhaltsstoffe NO_3, Na und insbesondere Cl, deren Konzentrationen am stärksten anthropogen beeinflusst sind, zeichnen das Niederschlagsgeschehen (vor allem in den Winter- und Frühjahrsmonaten) und somit den Stoffeintrag in den Untergrund nach. Der kleinere Cl-Peak im Mai und Juni 1996 könnte damit erklärt werden, dass erst im Gefolge der ergiebigen Regenfälle im Mai das in den vorausgegangenen Wintermonaten, die überwiegend niederschlagsarm waren, ausgebrachte Streusalz in den Grundwasserraum verfrachtet wurde. Gleichzeitig kann auch erkannt werden, dass die Analysenergebnisse nicht frei von Fehlern sind wie z.B. im Falle des Messwertes für HCO_3 im März 1996, für den es keine hydrogeologisch plausible Erklärung gibt. Der Grundwasserspiegelgang reagiert stark gedämpft (Amplitude ca. 1,3 m) und um mehrere Monate zeitversetzt auf Grundwasserneubildungsereignisse.

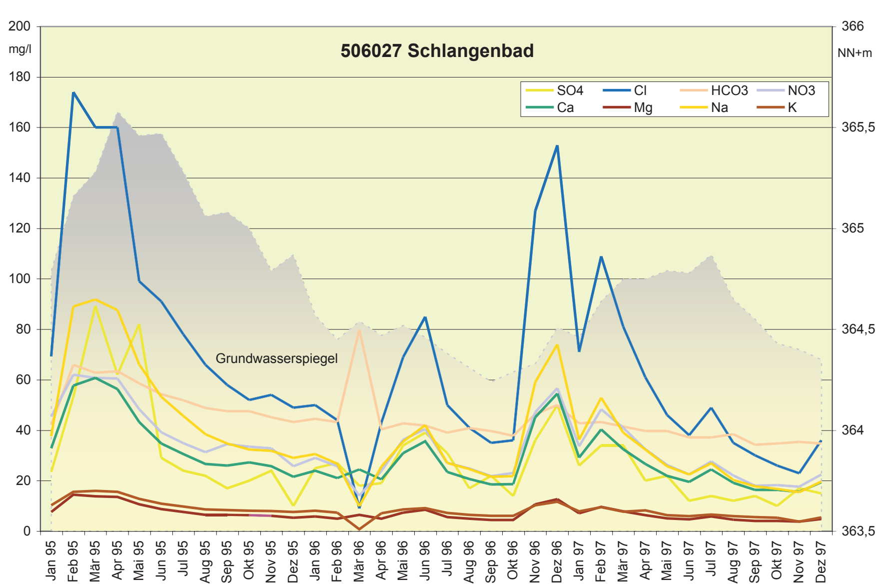


Abbildung 5: Konzentration (in mg/l) ausgewählter Inhaltsstoffe im Grundwasser der Messstelle 506027 Schlangenbad sowie mittlerer monatlicher Grundwasserspiegelgang im Zeitraum 1995 - 1997.

Ein völlig anderes Bild zeigt die zeitliche Entwicklung des Stoffinhalts im Grundwasser der Messstelle 506031 Orlen (Abb. 6). Die Konzentrationen der Kationen

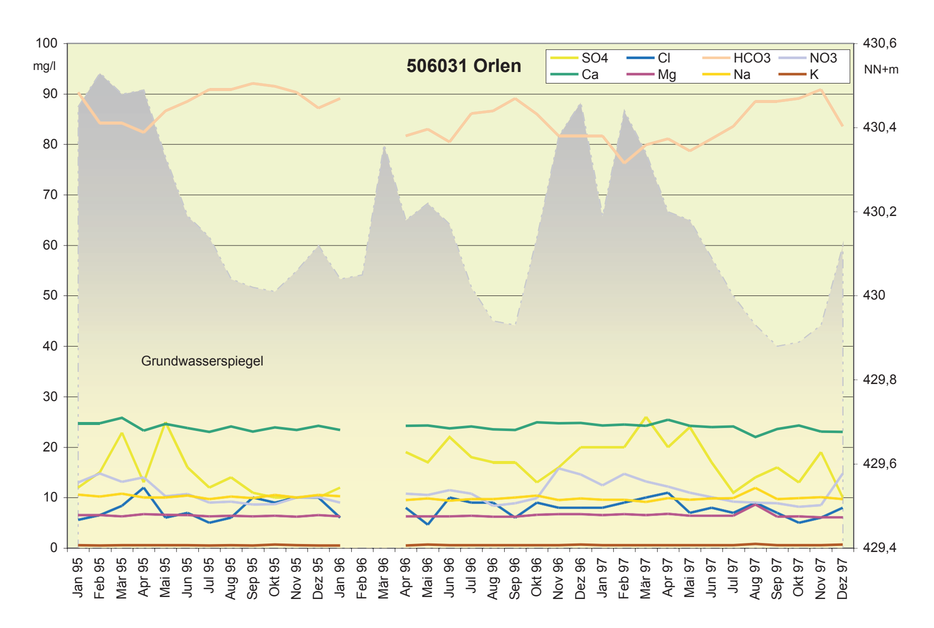


Abbildung 6: Konzentration (in mg/l) ausgewählter Inhaltsstoffe im Grundwasser der Messstelle 506031 Orlen sowie mittlerer monatlicher Grundwasserspiegelgang im Zeitraum 1995 - 1997.

verändern sich über die Zeit praktisch nicht (der Beprobungsturnus und der analytische Aufwand hätten insofern kostensparend erheblich gestreckt werden können), die der im Untergrund mobileren Anionen mit Ausnahme von SO_4 und HCO_3 nicht wesentlich. Speziell im Nadelwald, der im geohydrologischen Einzugsgebiet dieser Messstelle stark vertreten ist, werden das ganze Jahr über atmogene Stoffe ausgekämmt, sie gelangen jedoch vorrangig nur im Zusammenhang mit Prozessen der Grundwasserneubildung in den tieferen Untergrund, deutlich zu sehen an der Konzentrationsganglinie von NO_3. Es fällt auf, dass die Konzentrationsganglinien von SO_4 und HCO_3 gegenläufig sind, ihrerseits aber auch eine Relation zum Gang des Grundwasserspiegels aufweisen, der bei einer Amplitude von 0,6 m im Hinblick auf den an Tonschiefer und tonige Sandsteine gebundenen Grundwasserleiter erstaunlich stark gedämpft ist. Im Zusammenhang mit der Grundwasserneubildung gelangt sauerstoffreiches Grundwasser in den Grundwasserleiter, die dort in den Tonschiefern angereicherten Pyrite werden zu Sulfat oxidiert, daher relativ höhere SO_4-Konzentrationen während Zeiten höherer Grundwasserstände. Eine zusätzliche Ursache könnte aber auch der atmogene Eintrag des Säurebildners Schwefelsäure in den Untergrund sein, die sich dort etwas anders verhält als Nitrat, daher der differierende Verlauf der betreffenden Konzentrationsganglinien. Da bei höheren Ständen, die sich im Falle dieser Messstelle ziemlich rasch nach größeren Niederschlagsereignissen im Zeitraum Herbst – Frühjahr einstellen, das Grundwasser wegen der größeren potenziellen Energie nicht nur schneller im Untergrund fließen kann, sondern auch Gesteinspartien, die bereits mehr oder weniger ausgewaschen sind, anteilig stär-

ker durchströmt werden, sind in Zeiten höherer Grundwasserstände die HCO_3-Konzentrationen relativ geringer als in Zeiten tieferer Grundwasserstände, in denen das Grundwasser auf engen Klüften langsamer fließt und daher mehr Zeit für Lösungsvorgänge gegeben ist.

Aus der Charakteristik der Schüttungsganglinie der Weilquelle (Messstelle 507502 Glashütten) lässt sich ableiten, dass der Grundwasserleiter über wenig Speicherkapazität verfügt, die Schüttung kann in kurzen zeitlichen Abständen als Reaktion auf Niederschlagsereignisse beträchtlich schwanken. Sogar Niederschläge im Sommer (1996, 1997) können zu einem Anstieg der Quellschüttung führen, was in der Regel nicht üblich ist. Es wird daher vermutet, dass der Speicherraum sehr oberflächennah liegt und teilweise an die dem unterdevonischen Kluftgestein auflagernden Schuttdecke gebunden ist.

Die hydrochemischen Befunde stimmen mit den natürlichen hydrogeologischen Verhältnissen nur teilweise überein (Abb. 7). Es werden Erdalkalien (bis 10,4 mg

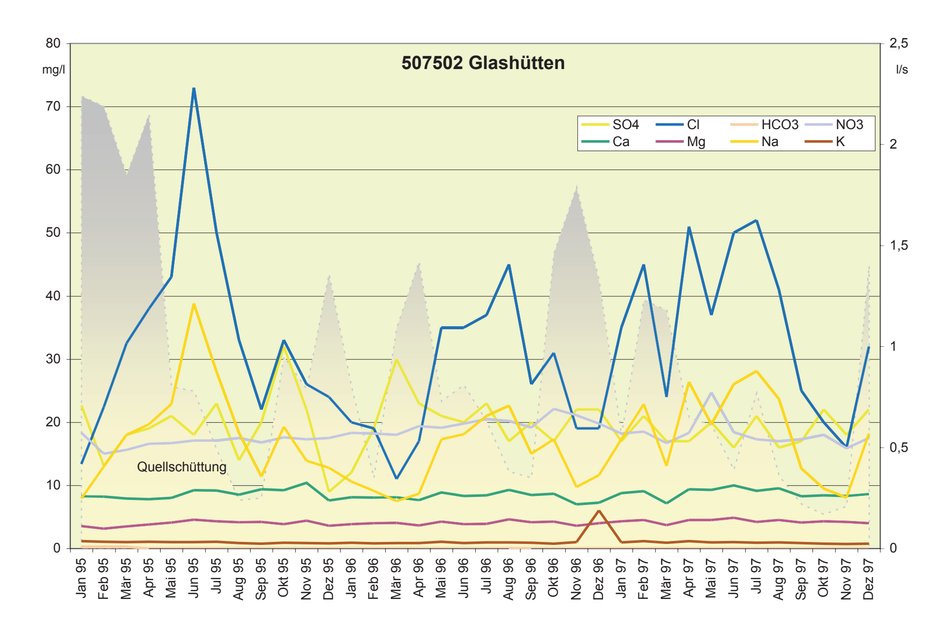


Abbildung 7: Konzentration (in mg/l) ausgewählter Inhaltsstoffe im Grundwasser der Messstelle 507502 Glashütten sowie mittlere monatliche Quellschüttung im Zeitraum 1995 - 1997.

Ca/l, bis 4,9 mg Mg/l) nachgewiesen, aber so gut wie kein Hydrogenkarbonat, was sich mit dem anstehenden Taunusquarzit erklären lässt, der weitgehend wasserunlöslich ist. Die Konzentrationen der übrigen Inhaltsstoffe des Grundwassers weichen erheblich von dem Beschaffenheitsmuster ab, das sich aus dem geochemischen Inventar des Grundwasserleiters ableiten lässt. Das gilt für NO_3 und SO_4 und insbesondere für Na und vor allem Cl. Eine mögliche Ursache ist ein Eintrag dieser Stoffe aus der Atmosphäre mit dem Niederschlags- bzw. Sickerwasser in das Grundwasser, allerdings reicht das nicht aus für eine Begründung der z.T. ho-

hen Konzentrationen im Grundwasser (bis 73 mg Cl/l, bis knapp 39 mg Na/l, bis 32 mg SO_4/l, bis fast 25 mg NO_3/l) aus. Im Hinblick auf die Konzentrationsspitzen ergeben sich ebenfalls Fragen, die sich anhand der hydrogeologischen Verhältnisse nicht ohne weiteres beantworten lassen. Zu erwarten wäre nämlich, dass wegen des praktisch fehlenden Rückhaltevermögens der anstehenden Gesteine und des Charakters von Chlorid als sog. „Durchläufer" Schüttungsspitzen und Cl-Peaks zeitlich weitgehend übereinstimmen, was nicht der Fall ist. Da das Feldberggebiet zu einem während allen Jahreszeiten stark frequentierten Naherholungsgebiet der Rhein-Main-Region gehört, ist im Einzugsgebiet der Weilquelle mit zahlreichen anderen Belastungsherden zu rechnen, nicht nur mit Straßen, die im Winter mit Streusalz beaufschlagt werden.

3 Schlussfolgerungen

In Hessen haben die definierten Grundwasserkörper eine durchschnittliche Fläche von ca. 170 km^2, in anderen Bundesländern und vor allem im EU-Ausland aber teilweise mehrere 1000 km^2. Da stellt sich schon die Frage, wie viele Grundwasseraufschlüsse (Messstellen i.e.S., Quellen, Förderbrunnen u.a.) nötig sind, um speziell im Zusammenhang mit dem überblicksweisen Grundwassermonitoring (also keine Überwachung von Punktquellen wie z.B. Altlasten) eine fachlich fundierte Aussage zum qualitativen Status eines Grundwasserkörpers als Ganzes zu machen und wie die auf die einzelnen Messstellen bezogenen Messwerte zu aggregieren sind.

Zurzeit besteht die Tendenz, der Berichterstattung nach „Brüssel" die Messwerte von nur sehr wenigen Messstellen pro Grundwasserkörper zugrunde zu legen (die Rede ist häufig von nur 1 „typischen" Messstelle, jedenfalls nicht mehr als 3 oder 4). Bleibt es bei diesen Überlegungen, besteht die Gefahr, dass die chemische Beschaffenheit eines ganzen Grundwasserkörpers vorschnell und unüberlegt als „schlecht" eingestuft wird mit der Konsequenz kostspieliger Bewirtschaftungsmaßnahmen, die bis 2015 einen „guten Zustand" als Ergebnis haben müssen. Gemäß Artikel 4, Abs. 2 des aktuellen Entwurfs (Juli 2005) der geplanten EU-Tochterrichtlinie „Grundwasser" wird nämlich ein Grundwasserkörper als in gutem Zustand betrachtet, „wenn a) die … Grundwasserqualitätsnormen und die … Schwellenwerte an keiner Überwachungsstelle in dem betreffenden Grundwasserkörper … überschritten werden oder b) der Wert für eine Grundwasserqualitätsnorm oder einen Schwellenwert an einer oder mehreren Überwachungsstellen zwar überschritten wird, eine … Untersuchung gemäß Anhang III jedoch bestätigt, dass … keine signifikante Gefährdung der Umwelt besteht … ." Auch wenn die neu erfolgte Einfügung von 2 b) gegenüber früheren Fassungen bereits einen großen Fortschritt darstellt, hängt die Entscheidung im Hinblick auf den chemischen Zustand eines Grundwasserkörpers ggf. von den Messwerten einer einzigen Messstelle ab. Das ist nicht akzeptabel, insbesondere auch deswegen nicht, weil weder in der eigentlichen EU-Wasserrahmenrichtlinie noch in keinem der bisherigen Entwürfe der Tochterrichtlinie ein Bezug hergestellt wird zur Größe eines Grundwasserkörpers, Anzahl der sonst noch vorhandenen Messstellen, Konfiguration des Messnetzes, Art der Messstellen und im Falle von Mess-

stellen i.e.S. Tiefenposition und Länge des Filters, hydrogeologischen Verhältnissen, Landnutzung als mögliche Kontaminationsquelle und stofflichen Eigenschaften der zu betrachtenden Kontaminanten. Da alle diese Kriterien, die für die Bewertung einer Grundwasserprobe wesentlich sind, bislang außer Acht gelassen worden sind, darf es nicht hingenommen werden, dass die Messwerte einer von z.B. drei Messstellen den Ausschlag geben im Hinblick auf die Aussage, dass ein großer Grundwasserkörper keinen guten chemischen Status hat.

Die hier vorgestellten Beispiele haben deutlich gemacht, dass schon auf relativ kleiner Fläche die Beschaffenheit des Grundwassers räumlich und zeitlich erheblich variieren kann. Daher schlägt der Verfasser ein mehrstufiges Verfahren einer Reduzierung der Messstellenanzahl vor, das fachlich vertretbar ist und auch den „Brüsseler“ Vorstellungen gerecht wird.

1. Der erste Schritt muss sein, die qualitativen Daten aller in einem Grundwasserkörper vorhandenen Messstellen auszuwerten (ggf. müssen zusätzliche Messstellen eingerichtet werden, um sich einen Überblick über die regionalen Unterschiede der Grundwasserchemie zu verschaffen unter spezieller Berücksichtigung der geochemischen und hydraulischen Eigenschaften der unterschiedlichen Grundwasserleiter innerhalb eines Grundwasserkörpers und der Landnutzung, die sich im Laufe der Zeit verändern kann).
2. In einem nächsten Schritt ist von Spezialisten mit langer Erfahrung zu klären, welche Kategorien der Grundwasserbeschaffenheit charakteristisch sind für die jeweiligen hydrogeologischen Verhältnisse in Kombination mit der jeweiligen Landnutzung bzw. dem damit zusammenhängenden Gefährdungspotenzial für das Grundwasser und welche/wieviele Messstellen mit dem jeweiligen Grundwasserbeschaffenheitstyp in Verbindung gebracht werden können.
3. Da sich angesichts der knappen finanziellen und personellen Ressourcen bei den Fachbehörden auch bei Einsatz leistungsfähiger Datenbanken der Aufwand für die EU-Berichterstattung in Grenzen halten muss, wird letztlich auch die Anzahl der Messstellen, deren Daten in die Bewertung des Status eines Grundwasserkörpers eingehen, zu reduzieren sein. In einem dritten Schritt sind daher nur solche Messstellen in die engere Wahl zu nehmen, bei denen a) die prozentuale Verteilung der Landnutzung in ihrem Einzugsgebiet in etwa mit der des betreffenden Grundwasserkörpers übereinstimmt (Herstellung des Flächenbezugs mittels geographischer Datenbanken) und b) der Grundwasserchemismus – abgesehen von den hydrogeologischen Verhältnissen – so ist, dass er der überwiegenden ($\geq$ 75 %) Nutzungsart wie Wald, Ackerland, Siedlung, Industriefläche u.a. zugeordnet werden kann. Ein Beispiel für die im Taunus vorherrschenden geschieferten Tonsteine und tonigen Sandsteine unter Waldbestockung könnte die Messstelle 506031 Orlen sein.
4. Es ist nicht sinnvoll, im Falle eines im Hinblick auf die hydrogeologischen Verhältnisse und die Flächennutzung heterogenen Grundwasserkörpers unter Anwendung statistischer Raffinessen einen synthetischen „Einheitschemismus“ aus unterschiedlichen Analysenbefunden zu aggregieren, der sich mit großer Wahrscheinlichkeit an keiner Stelle des betreffenden Grundwasserkörpers nachweisen lässt. Da es sich beim überblicksweisen Grundwasser-

monitoring ohnehin nur um eine generelle Überwachung des Grundwassers mittels eines weitmaschigen Messnetzes handelt, ist es aber vertretbar, in einem vierten und letzten Schritt die Messwerte aus einem Pool von bis zu 5 Messstellen, die den Anforderungen gemäß Schritt 3 entsprechen (Referenzmessstellen), parameterweise arithmetisch zu mitteln und somit jedem bedeutenderen Typ von Landnutzung und/oder Grundwasserleiter eine „mittlere“ Grundwasserbeschaffenheit zuzuordnen. Das Ergebnis wird also sein, dass für einen Grundwasserkörper mittlerer Größe (1000-2000 km^2) etwa 20 - 30 „repräsentative“ Messstellen ausgewählt werden sollten und abhängig von Hydrogeologie und Landnutzung der qualitative Status eines Grundwasserkörpers differenziert zu bewerten ist.

4 Literaturverzeichnis

GOLWER, A. (1999): Beeinflussung der Grundwasserbeschaffenheit durch Straßenverkehr in Wasserschutzgebieten.- Geol. Jb. Hessen, **127**: 131-146, 7 Abb., 6 Tab.; Wiesbaden.

THEWS, J.-D. (1972): Zur Typologie der Grundwasserbeschaffenheit im Taunus und Taunusvorland.- Abh. hess. L.-Amt Bodenforsch., **63**: 42 S., 27 Abb., 7 Tab., 2 Taf.; Wiesbaden.

TOUSSAINT, B. (2001): Der staatliche Grundwasserdienst in Hessen .- Jb. nass. Ver. Naturkde., **122**: 115-137, 13 Abb.; Wiesbaden.

TOUSSAINT, B. (2003): Grundwasser-Monitoring und EU-Wasserrahmenrichtlinie – Messnetzkonzeption aus hydrogeologischer Sicht.- Geol. Jb. Hessen, **130**: 21-35, 8 Abb., 1 Tab.; Wiesbaden.

Prof. Dr. BENEDIKT TOUSSAINT
Seifer Weg 25
65232 Taunusstein
bis 31.08.2005 Abteilungsleiter im
Hessischen Landesamt für Umwelt und Geologie, Wiesbaden
Telefon: 06128/71737
E-Mail: b_toussaint@web.de

Manuskripteingang: 12. August 2005